



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001237212 A**(43) Date of publication of application: **31.08.01**

(51) Int. Cl.

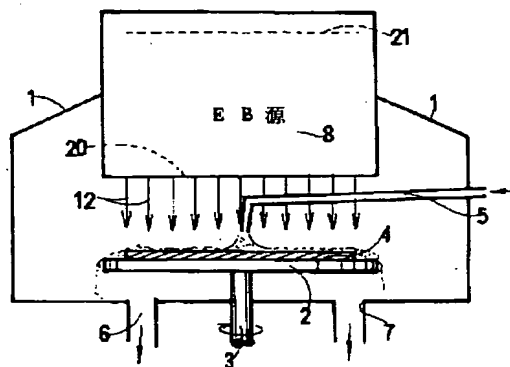
H01L 21/304**G21K 5/04****H01L 21/306****H05H 1/24**(21) Application number: **2000043777**(22) Date of filing: **22.02.00**(71) Applicant: **NISSIN HIGH VOLTAGE CO LTD**(72) Inventor: **HAYASHI TSUKASA
SUZUKI TAKASHI****(54) METHOD AND DEVICE FOR ELECTRON BEAM
TREATMENT**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To perform the ashing, cleaning, and flattening which are performed in a semiconductor wafer process by means of an electron beam irradiation device and, at the same time, to simplify the irradiation device through integration.

SOLUTION: A substrate placed on a rotary device set up in the air is treated by producing ozone or a hydrogen plasma, oxygen plasma, or halogen plasma by irradiating the substrate with an electron beam while the substrate is rotated in a state where a liquid chemical is supplied to the substrate.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-237212
(P2001-237212A)

(43) 公開日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル (参考)
H 0 1 L 21/304	6 4 5	H 0 1 L 21/304	6 4 5 C 5 F 0 4 3
G 2 1 K 5/04		G 2 1 K 5/04	E
H 0 1 L 21/306		H 0 5 H 1/24	
H 0 5 H 1/24		H 0 1 L 21/306	D

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-43777 (P2000-43777)

(22) 出願日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(71) 出願人 000226688

日新ハイボルテージ株式会社
京都府京都市右京区梅津高畝町47番地

(72) 発明者 林 司

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地日新
ハイボルテージ株式会社内

(72) 発明者 鈴木 隆

京都府京都市右京区梅津高畝町47番地日新
ハイボルテージ株式会社内

(74) 代理人 100079887

弁理士 川瀬 茂樹

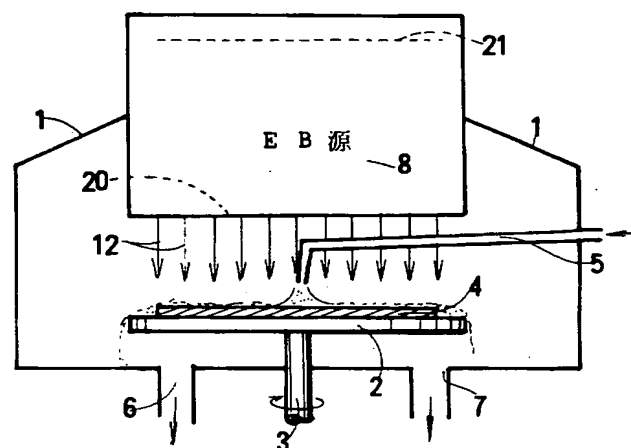
Fターム (参考) 5F043 AA02 BB27 CC16 DD15 EE08
EE40 FF07

(54) 【発明の名称】 電子線処理方法および電子線処理装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体ウエハプロセスの工程であるアッシング、洗浄、平坦化を電子線照射装置によって行うこと。装置を統合して単純化すること。

【解決手段】 大気中の回転装置上においた基板に薬液を供給しながら回転させ、電子線を照射してオゾン或いは水素プラズマ、酸素プラズマ又はハロゲンプラズマを発生させて基板処理をする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 大気中の回転装置上においた基板に薬液を供給しながら回転させ電子線を照射してオゾン或いは酸素、水素、ハロゲンのプラズマを発生させて基板処理をさせる事を特徴とする電子線処理方法。

【請求項2】 大気中に設けた回転装置と、回転装置上においた基板に薬液を供給する薬液供給装置と、基板上に設けられた電子線照射装置よりなり、基板を回転させながら電子線を照射してオゾン或いは酸素、水素、ハロゲンのプラズマを発生させて基板処理をさせる事を特徴とする電子線処理装置。

【請求項3】 レジストのアッシング装置であることを特徴とする請求項2に記載の電子線処理装置。

【請求項4】 基板洗浄装置であることを特徴とする請求項2に記載の電子線処理装置。

【請求項5】 基板平坦化装置であることを特徴とする請求項2に記載の電子線処理装置。

【請求項6】 一つの装置が、レジストのアッシング装置、基板洗浄装置、基板平坦化装置として共通に使用できる装置であることを特徴とする請求項2に記載の電子線処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レジスト除去装置、半導体基板洗浄装置、液晶用ガラス基板洗浄装置、半導体基板平坦化装置などへ電子線照射装置を応用した装置及び方法に関する。初めに基板洗浄装置を電子線照射装置によって構成する、あるいはレジスト除去（アッシング）装置を電子線照射装置によって構成する、又は基板平坦化装置を電子線照射装置によって構成すること、あるいは、これら3つの機能を一つの電子線照射装置によって共通に行うようにした装置を提供する。だから本発明は装置についていえば、

【0002】1. 電子線照射装置を使ったレジスト除去（アッシング）装置

2. 電子線照射装置を使った基板洗浄装置

3. 電子線照射装置を使った基板平坦化装置

4. 電子線照射装置を使った洗浄、アッシング、平坦化装置

の4つの発明を含むことになる。方法についても同様であるが重複になるから方法については列挙しない。

【0003】

【従来の技術】二つの方面からの従来技術を考える必要がある。電子線照射装置ということと半導体プロセスという全く異なる技術についての従来技術である。まず電子線照射装置であるが、これは真空中でフィラメントから熱電子を発生させ加速して走査し、或いは走査せず、照射窓の窓箔を通して電子線を大気中に出し、被処理物に当てる。高分子架橋によって電線被覆の強化を行ったりプラスチックシートの硬化、塗膜硬化などの様々の処

理を行う。被処理物は厚い金属のシールドで囲まれた空間を搬送コンベヤによって入口から出口へと送られる。電子線エネルギーが強い場合は特に強いX線が発生する。有害な放射線であるからX線が外部に出ないように遮蔽構造に工夫がなされる。雰囲気中に酸素が含まれる場合は電子線やX線がオゾンを発生する。オゾンは有害であるからガス排気は重要である。オゾンが作業環境に漏れないように注意する必要がある。オゾンが好ましくないので雰囲気を窒素ガスにしたりArなど希ガスにすることもある。被処理物は乾燥有形固体である。濡れている試料に電子線照射をするような装置は未だ存在しない。以上が電子線照射装置の現況である。半導体デバイスの製造工程において、アッシング、基板洗浄、平坦化処理はそれぞれ重要な工程である。Siウエハーの上にウエハープロセスによってデバイスを作製する際フォトリソグラフィの技術が用いられる。ウエハー、金属膜、半導体膜、誘電体膜などの一部をレジストによって被覆（マスク）して残りの露呈部分をエッチングしたり、残りの露呈部分に半導体、誘電体、金属を選択的に成長させたりするものである。そのような処理をした後はレジストを除去する必要がある。

【0004】レジストは有機物であるから燃焼させて除去する。それがアッシングである。アッシングの後にもレジストの一部が幾分残存しているので基板表面を洗浄する。洗浄はSi基板の場合に自然にできる表面の自然酸化膜を除去するという目的もある。ウエハープロセスを重ねるとウエハーの表面が凹凸を帯びようになりフォトリソグラフィの精度も悪くなる。それで表面を平坦にする必要がある。これが平坦化処理である。これらの従来技術について述べる。

【0005】1. アッシング（灰化処理）

二つの方法が知られている。一つはRFプラズマ装置、マイクロ波プラズマ装置に基板を置いて酸素ガスを導入し、RF電力或いはマイクロ波によって酸素プラズマを生成し酸素プラズマによってレジストを酸化し二酸化炭素と水（ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ）として除去するものである。レジストは有機物であるから酸素プラズマによって燃焼する。生成物の CO_2 、 H_2O はガスであるから容易に排除される。ヒータによって基板を加熱するようにしたものもある。基板加熱によってレジスト灰化処理は促進される。

【0006】もう一つはUVランプ（紫外線ランプ）とオゾンを利用する方法である。UVランプを備えた反応室に基板（Si、ガラス）を置いて、酸素ガスを導入しつつUVランプで基板を照射する。酸素がUVランプによってオゾンを発生する。オゾンが有機物であるレジストと酸化反応して、レジストを二酸化炭素と水に変える。さらに最終的にオゾン水と水素水で処理することもある。

【0007】2. 洗浄

基板洗浄というのは、半導体ウエハー（基板）の洗浄、液晶用ガラス基板の洗浄などを意味する。Si 基板の場合は表面酸化膜を除去するという事もある。また、レジスト残渣をより完全に除くという目的もある。Si ウエハーの場合は、複数枚の Si ウエハーをキャリアに入れ、過酸化水素水とアンモニア水（ $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ ）を含む洗浄水槽につけて洗浄する。表面酸化膜や汚れなどが除去される。液晶用ガラス基板の場合も同様の洗浄液に漬けて表面の汚れを除くようになってくる。さらに基板を $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2$ 水溶液で処理するということもある。化学的な反応によって基板表面の汚れやレジストの残渣を排除できる。

【0008】3. 平坦化

平坦化というのはウエハープロセスを重ねて凹凸が生じた基板を平坦にすることである。これも重要な工程である。従来は基板を定盤に取り付け、化学薬品と砥粒を含む砥液を供給しながら回転する砥石で研磨していた。CMP（Chemical Mechanical Polishing）という。砥粒は物理的な研磨をするが、薬品によって化学反応を引き起こし表面を削る作用がある。機械的な摩擦による研磨と化学薬品による化学反応を併用している砥石で削るのでウエハーの表面が平坦になる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】1. 【洗浄の問題】半導体基板、液晶用ガラス基板の洗浄の場合、過酸化水素水の混合液、オゾン水、水素水などの薬品の水槽に基板を漬けて反応させる。これらの薬品は処理時間経過とともに濃度が減少してゆく。時間的に濃度が変動するから高濃度の薬液の維持が困難である。処理を行う場所での薬品濃度の安定性にも問題がある。薬品濃度が常に一定するような方法が望まれる。

【0010】2. 【アッシングの問題】半導体基板、液晶用ガラス基板などのレジスト除去の場合、酸素プラズマを発生する装置を用いている。この装置によって酸素ラジカルや酸素イオンを発生させレジストに当て二酸化酸素などを生成する化学反応を促進してレジスト除去を行っている。

【0011】レジストだけでなく、活性な酸素ラジカルや酸素イオンが基板面やデバイス面にも当たる。酸素ラジカルや酸素イオンの基板への衝突により被処理物である半導体基板、ガラス基板に作製されているデバイスにダメージを与える。レジスト残渣以外にダメージを与えないような装置が望ましい。

【0012】またレジストが前工程の処理中に有機物系物質以外の化合物を形成した場合、酸化処理だけでは除去できない。だから、非有機物が処理後残渣として残り、別の装置で残渣処理を行う必要があった。

【0013】3. 【平坦化の問題】半導体基板、液晶用ガラス基板の平坦化の場合、砥粒と薬液を供給しながら回転砥石で研磨している。機械的な研磨であるから基

板に形成されているデバイスに損傷を与える可能性がある。研磨に使用する砥粒が乾燥し、これがウエハーや装置を汚す。砥粒による発塵がデバイスを汚染しデバイス歩留まりを低下させる。砥粒による機械的研磨に頼らない平坦化方法が望まれる。

【0014】

【課題を解決するための手段】大気圧において、半導体基板、ガラス基板の表面に液体を供給しながら電子線を照射して電子線によってオゾン又は酸素プラズマ、水素プラズマ或いはハロゲンプラズマを発生させ液体とオゾン或いは酸素、水素、ハロゲンプラズマによって基板洗浄、アッシング、平坦化処理を行う。これが本発明の特徴である。電子線照射という点は共通であるから3つの処理を一つの電子線照射装置によって行う事ができる。液体の種類は処理の目的と被処理物によって異なる。純水の場合もあるし反応性のある薬液の場合もある。いずれの場合も電子線照射によってオゾンが発生するので、これによって反応を促進させる。あるいは、電子線が水素、酸素、ハロゲンを水素ラジカル、酸素ラジカル、ハロゲンラジカルに変えて所望の反応を起こさせるということもある。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明は、アッシング、洗浄、平坦化の3つの異なる工程に対して共通の電子線照射装置を使う。装置の概略を図1によって説明する。円筒形のスピнкаップ1は円盤状のターンテーブル2を収容した容器である。ターンテーブル2は回転軸3によって支えられる。回転軸3は適当な回転速度で回転する。ターンテーブル2の上に被処理物であるSi ウエハー、ガラス基板などの基板4が載置される。薬液ノズル5がターンテーブル2の中心まで延びている。或いは、ターンテーブルの周縁部にあつてターンテーブルの中央に薬液を吐出できるようにになっている。薬液ノズル5は、処理目的によってさまざまな薬液をターンテーブル2の中心へ導入することができる。スピнкаップ1の底部には排気口6と排水口7がある。スピнкаップ1の上部には小型の電子線照射装置8（EB源）が設けられる。

【0016】EB源8は電子線発生フィラメント21、フィラメント電源、加速電極、加速電源、照射窓などよりなる。真空中でフィラメントが熱電子を発生し、これを加速して照射窓の窓箔20を通して電子線が外部（大気圧）に出るようになってくる。これまで電子線照射装置は大型で独立の装置として作製され使用されていた。電子線が被処理物に当たるとX線が出る。雰囲気は空気だと電子線やX線のためにオゾンが発生する。オゾンは有害なので窒素雰囲気、アルゴン雰囲気にしたりする。また、オゾンを強制排気して除いている。ここでは小型の電子線照射装置であつてスピнкаップの上部に付随したものとす。このような小型の電子線照射装置自体新規である。一般の電子線照射装置は数MeV～100k

eVの加速エネルギーを持つ太い強力な電子ビームを発生する。

【0017】走査型、非走査型の二つの類型がある。走査型の場合は500keV～5MeVの大電圧の電子線を発生し左右に走査する。非走査型の場合は100keV～500keV程度の低いエネルギーで大きい直径の電子線ビームを発生する。真空と大気を仕切るものが照射窓の窓箔20である。窓箔20はTi箔、Al箔などが使われる。本発明の場合はもっと加速エネルギーが低くて10keV～100keV程度のごく低いエネルギーの電子線を用いる。したがって加速電源、加速電極も小型でよくて全体として小型となる。スピンの上部に取り付けられるような小型のものをを用いることができる。

【0018】薬液ノズル5から薬液、水溶液、水などが供給され、雰囲気は空気、酸素ガス、水素ガス、ハロゲンガスなどの場合がある。何れの場合も電子線によってオゾン或いは酸素、水素、ハロゲンのプラズマが発生する。これまでの電子線照射装置ではオゾンは邪魔で有害であって除害装置を通して排気していたが、本発明はそうでない。反対に発生するオゾン或いは酸素、水素、ハロゲンのプラズマを有効に利用する。オゾン或いは酸素、水素、ハロゲンのプラズマは次々とふんだんに発生する。これを有効利用するというのは本発明の顕著な利点となる。

【0019】

【実施例】[1. 電子線照射によるアッシング装置] アッシングというのはマスクの役割を終えたレジストを灰化して除去することである。従来はプラズマ発生装置で酸素プラズマを発生させるか、UVランプでオゾンを発生させることによっていた。本発明は電子線照射装置を用いる。図2は本発明をアッシングに適用したときのスピンの上部1の中基板4の表面の拡大図である。基板4の上面にはところどころレジスト9が付いている。これは前工程のエッチング工程でマスクとなった部分である。レジストの存在しない部分はエッチングによって深くえぐられ凹部(穴)10となっている。基板はスピンしているので液体は基板4の表面に均一に広がる。レジスト頂部は薬液に薄く覆われる。基板の凹部10には薬液11が満ちている。雰囲気は酸素あるいは空気とする。薬液11は純水またはレジスト剥離液とする。

【0020】スピンの上部1に設けられるEB源(電子線照射装置)8で電子線12が発生し窓箔20を透過する。電子線12は広い面積を持つフィラメント21から出るのでビーム面積が広い。基板4の全体に均一密度の電子ビームが照射される。電子ビームがレジストに当たり有機物分解反応を引き起こす。それは直接的な効果であるが、もっと有効な作用がある。電子線によって酸素はオゾンになる。これは有害無益として排除されていたのであるが、本発明ではオゾンによる旺盛な有機

物酸化作用を利用する。

【0021】オゾン水などと同じ作用であるが、本発明の場合はオゾンが電子線から作られるから濃度が希薄になってゆかない。常に新しいオゾンを供給できる。薬液(純水、レジスト剥離液)は凹部を満ち電子線は薬液によって減速・吸収されるから電子の加速エネルギーや液厚によってはウエハーの内部の凹部10の底までには到達できない。電子線による作用から凹部は守られる。そのような選択性をもたらすので薬液をウエハー表面に散布しウエハー(基板)をスピンするのである。スピン回転数によって液厚を適宜のものに設定する事ができる。

【0022】レジストはオゾンの作用で酸化され、電子線によって酸化反応を促進し、レジスト剥離液の化学作用もあって基板表面から剥離する。レジスト9は薬液とともに排水口7から排除される。雰囲気ガスオゾンは排気口6から排出される。収支バランスによってオゾン濃度を時間的に一定に保持できる。

【0023】[2. 電子線照射による洗浄装置] 図3は本発明の電子線照射洗浄装置の基板断面図である。ウエハー(基板)4にはエッチングによる凹部(穴)10がある。ウエハー表面に薬液13を吹き付けている。ウエハーはスピナーによって回転しているから液面は均一な厚みを保持する。液体(薬液)は対象物によって、純水、水素水、エッチング液、剥離液などを使い分ける。ここではレジスト残渣14や異物15(パーティクル)を問題にする。薬液は凹部10には深く入り込むので電子線を減速・吸収できる。薬液、純水により電子線が減衰して凹部には作用しない。凹部はデバイスの一部で重要であるから電子線衝突から保護されるというのは好都合である。

【0024】レジスト残渣14は表面に出ているから電子線の照射を強く受ける。またオゾンの作用も受ける。酸化されてレジスト残渣が分解し(CO₂)排除される。異物が金属粉の場合は雰囲気を水素とするか、水素水を薬液に混合しておく。水素に電子線があたると水素ラジカルを形成する。これは励起中性水素分子、励起中性水素原子、励起水素分子イオンなどを含む。基底状態の水素でないから反応性が強い。水素ラジカルによって表面に付着していた金属異物が除かれる。無機物、金属の場合はオゾンによる酸化作用か、水素ラジカルによる還元作用によって溶解し、液体とともに排出されるようになる。

【0025】Si基板の自然酸化膜をとりたいという場合は水素を電子線で励起し水素ラジカルとする方法が有効である。このように基板洗浄にも電子線照射装置を用いることができる。純水や薬剤の上から電子線を当てるから凹部が保護される。また、濡れているからチャージアップが起こらない。導電性がよいので電流が基板に流れて放電されチャージアップが発生しない。だから、半

導体デバイスがチャージアップで破壊されるということもない。薬剤の役割はチャージアップ防止ということもある。

【0026】〔3. 電子線照射による平坦化装置〕図4は本発明の電子線照射平坦化装置の基板断面図である。ウエハー（基板）4にはエッチングによる凹部（穴）10がある。ウエハー表面には突出した何らかの構造物質16がある。構造物質16は SiO_2 、 SiN 、 AlN 、 Al 配線、銅電極などさまざまな場合がある。ウエハーの中心に薬液17を吹き付けている。この場合、薬液17はケミカルエッチング液である。ウエハーはスピナーによって回転しているから液面は一樣な厚みを保持する。ケミカルエッチング液といっても対象によって使い分ける。構造物質16を腐食する作用のある薬液17が選ばれる。薬液17は凹部10には深く入り込むので電子線を減速・吸収できる。薬液により電子線が減衰して凹部には作用しない。凹部はデバイスの一部で重要であるから電子線衝突から保護されるというのは好都合である。その点はこれまでの例と同じである。

【0027】構造物質16は突出しており電子線を直接に浴びる。電子線的作用を強く受ける。薬剤による腐食作用も受ける。水を含む場合はオゾンを生ずる。雰囲気からもオゾンが発生する。オゾンと薬液の化学作用によって構造物質16が除かれる。高い部分が除かれると次に高い部分が露呈して電子線作用を受けるようになる。高い部分から除去される。だから凹凸ある基板表面が平坦になってゆく。金属や酸化物を多く含む場合はオゾンよりも水素水の方が適するから雰囲気を水素とするか水素を高濃度に含む水素水を薬液に含ませる。水素に電子線が当たると水素ラジカルを発生させる。水素ラジカルは還元作用に富む。これによって酸化物や金属異物を除くことができる。ケミカルエッチング溶液はスピンの回転によって平坦面を維持できるから基板面はやがて平坦になる。物理的な押圧力や摩擦力が働かないからデバイスにダメージを与えない。これは優れた平坦化技術である。

【0028】凹凸ある多結晶シリコンの平坦化の場合はフッ素系薬液、例えばフッ酸水溶液を用いる。これを多結晶シリコンの表面に供給しながら電子線照射を行う。シリコンはフッ酸水溶液には溶けない。しかし、シリコンの酸化物である SiO_2 はフッ酸に溶ける。電子線照射によってオゾンが生成する。電子線照射とオゾンによって多結晶 Si の表面が酸化される。酸化された部分は SiO_2 となる。 SiO_2 はフッ酸に溶けるから瞬時に溶解される。溶解されると液体になるから流れさる。このように Si は上部から電子線照射とオゾン酸化によって SiO_2 に変わり、 SiO_2 がフッ酸に溶解除去されてゆく。スピンされた液体は同一水準面を保持するから多結晶 Si の高い部分から除かれてゆく。だから平坦化してゆくのである。このような反応も電子線照射がオゾ

ンを作り、これと電子線照射作用により Si を酸化するから反応が進んでゆく。単に酸素があるだけでは酸化は遅くて平坦化できない。

【0029】

【発明の効果】平坦化の場合、砥粒を使用しなくてよい。乾燥砥粒による発塵の問題がなくなる。発塵による汚染から免れる。圧力を掛けた機械的研磨をしないからデバイスのダメージの問題が少ない。機械歪が入る余地がない。これも優れた長所である。

10 【0030】レジストをアッシングする場合、ウエハーの凹部の面は薬液などによって保護されているから電子線が通らず凹部ではオゾンが発生しない。レジストなどの表面に突出している部分はオゾンに接触しやすく、オゾンによって反応しガスになって排除される。これに反し凹部の基板面などは溶液によって保護されウエハー表面の凹部がダメージを受けない。凹部はデバイスの作製された部分であるから電子線から保護されるのは好都合である。

20 【0031】基板に常に水や薬液を注ぎかけているから電子線を照射してもチャージアップがおこらない。絶縁体基板（ガラス基板）や半絶縁体基板に電子線を当てるとチャージアップがおこり高電圧のためデバイスが破壊されることもあるが、本発明の場合基板は常に濡れておりチャージアップは起こらず高電圧によるデバイス損傷ということはない。水や薬液は、凹部保護、チャージアップ防止、オゾンの素、水素ラジカルの素といういくつかの役割や意味がある。

30 【0032】以上に説明したものは、アッシング装置、洗浄装置、平坦化装置として単体のものを述べている。しかし考えてみれば同じ構造なのであるから、基板プロセスにおいて連続して同じ装置を使って、アッシング、洗浄、平坦化の三工程をこなすことができる。装置自体の数を減らす事も可能である。

40 【0033】ただし、このような用途に使えるのは電子線エネルギーがこれまでの装置よりもさらに低いということが条件になる。汚染をとったりレジストを取り除くのためには基板表面だけに作用する程度でよい。むしろ基板内部までに入り込んではいけな。基板表面にもデバイス面にも作用しない方がよい。デバイス面を保護するのは純水、薬液など液体である。だから10keV～50keVあるいは5keVとかというような例のない低エネルギーの電子線を発生させることも必要となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の電子線照射装置を用いた基板処理装置の概略断面図。

【図2】本発明の装置によって基板上に付着しているレジストをアッシングする場合の基板の断面図。

50 【図3】本発明の装置によって基板上に付着しているレジスト残渣、異物を除くための洗浄をする場合の基板の断面図。

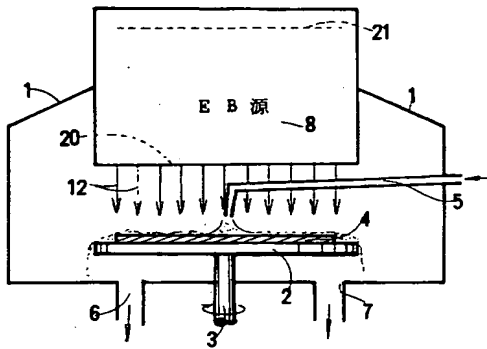
【図 4】本発明の装置によって基板上に凹凸をもたらしている部材を除去し平坦化する場合の基板の断面図。

【符号の説明】

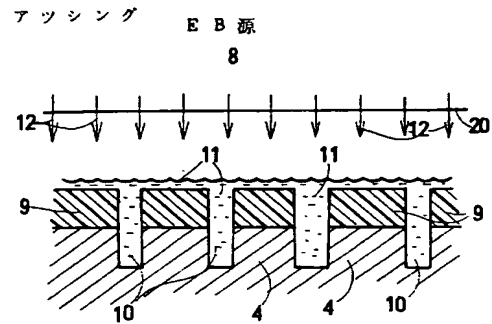
- 1 スピンカップ
2 ターンテーブル
3 回転軸
4 基板
5 薬液ノズル
6 排気口
7 排水口
8 電子線照射装置 (EB 源)

- 9 レジスト
10 穴
11 薬液
12 電子線
13 薬液
14 レジスト残渣
15 異物
16 構造物質
17 薬液
10 窓箱
21 フィラメント

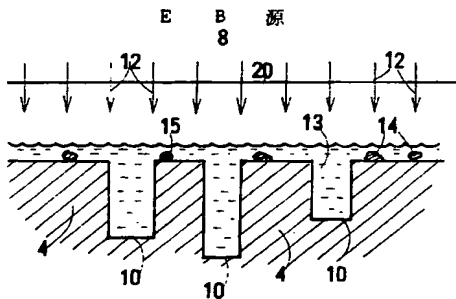
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

